

DESARROLLO CONCEPTUAL DE DOSÍMETRO DIGITAL PARA EL SECTOR
AERONÁUTICO EN COLOMBIA

EDWIN ALEXANDER CASALLAS MORENO

DIANA EDITH CASALLAS REGALADO

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ D.C

2018

DESARROLLO CONCEPTUAL DE DOSÍMETRO DIGITAL PARA EL SECTOR
AERONÁUTICO EN COLOMBIA

EDWIN ALEXANDER CASALLAS MORENO

DIANA EDITH CASALLAS REGALADO

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Industrial

Director del proyecto

MS. GUSTAVO ANDRÉS ROMERO DUQUE

FUNDACIÓN UNIVERSIARIA LOS LIBERTADORES

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ D.C.

2018

Agradecimientos

Queremos agradecer a Dios, a nuestros familiares y amigos en especial a Ignacio González, María Rubiano, Emma Villanueva quienes contribuyeron a que el presente proyecto fuera posible y a la Fundación universitaria los libertadores en especial al docente Gustavo Romero por su orientación y colaboración.

Nota de aceptación

MS. Gustavo Andrés Romero Duque
Director del proyecto

MS. Yony Alejandro Pastrana Caballero
Jurado

MS. José Ovidio Salamanca López
Jurado

Bogotá D. C

28 de febrero del 2018

Las directivas de la Fundación Universitaria los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento.

Estos corresponden únicamente a los autores.

CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN	11
1.1 Planteamiento del problema	12
1.2 Justificación	13
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos específicos	14
2 MARCO REFERENCIAL.....	15
2.1 Marco teórico	15
2.2 Marco conceptual	20
3 ANÁLISIS DE LOS ANTECEDENTES EN LA LITERATURA CIENTÍFICA Y TÉCNICA	25
3.1 Herramientas de dosimetría.....	25
3.2 Organizaciones y los métodos implementados	25
3.1 Definición por parte de las organizaciones aeronáuticas	26
3.2 Resultados obtenidos por las organizaciones	27
3.3 Pertinencia metodológica	27
4 CONSTRUCCION CONCEPTUAL DEL DOSIMETRO DIGITAL	28
4.1 Identificación de atributos en el sector aeronáutico en relación a la dosimetría	29
4.2 Cubrimiento de objetivos jerárquicos en el sector aeronáutico en relación a la dosimetría.	30
4.3 Comparación de pares de objetivo	31
4.4 Diagrama de funciones	32
4.5 Lista de especificaciones	34
4.6 Selección de la mejor alternativa.....	35
4.7 Pesos ponderados	37
4.8 Selección de la solución más prometedora.....	37
5 PLAN DE IMPLEMENTACION.....	39

6	RESULTADOS	43
7	CONCLUSIONES	48
8	GLOSARIO	49
9	BIBLIOGRFIA	53

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Configuración estructural interna de un detector TLD.....	15
Figura 2 Partes del detector Geiger Muller.	16
Figura 3 Calibración del detector Geiger Muller.	17
Figura 4 Detector de cristal de Europio.	17
Figura 5 GPS opcional	22
Figura 6 Geiger Muller usado en la industria actualmente	22
Figura 7 Elevador de voltaje conectado al Geiger Muller	23
Figura 8 Placa de arduino.....	23
Figura 9 Requerimiento de simulador de dosis CARI -7A.	24
Figura 10 Diagrama de funciones.	33
Figura 11 Detector de radiación gamma, alfa beta portátil	36
Figura 12 Detector de radiación gamma, alfa beta portátil	36
Figura 13 Detector de radiación gamma, portátil.....	36
Figura 14 Región de Riesgo.	39
Figura 15 Detector seleccionado por el método QFD el cual es usado para esbozar el plan de implantación.	40
Figura 16 Vista frontal del dosímetro digital, para el sector aeronáutico en Colombia.....	47

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1 Características de los detectores TLD.....	15
Tabla 2 Relación grafica entre conceptos derivados de la etapa inicial creativa de un diseño.	19
Tabla 3 Características técnicas requeridas por CARI-7A para el GPS.	20
Tabla 4 Características técnicas del GPS.	21
Tabla 5 Características técnicas conceptuales de las partes incorporadas para el detector que se pueden conseguir en el comercio.	22
Tabla 6 Requisitos del cliente (i).	28
Tabla 7 Identificación de atributos.	29
Tabla 8 Objetivos Jerárquicos.	30
Tabla 9 Objetivos de primer nivel.	31
Tabla 10 Objetivos de segundo nivel; Costos.	31
Tabla 11 Objetivos de Segundo nivel; Diseño.	31
Tabla 12 Objetivos de Segundo nivel; Logística.	32
Tabla 13 Objetivos de Segundo nivel; Medio Ambiente.	32
Tabla 14 Grado de impacto con respecto a los requisitos del cliente.	34
Tabla 15 Grado de impacto con respecto a las características técnicas del detector.	35
Tabla 16 Lista de alternativas.	36
Tabla 17 Descripción de los componentes de acuerdo a las necesidades del funcionamiento.	37
Tabla 18 Probabilidad de alcanzar dosis máximas ocupacionales.	40
Tabla 19 Gravedad del suceso.	41
Tabla 20 Matriz de evaluación de los riesgos de la seguridad operacional.	41
Tabla 21 Matriz de tolerancia de los riesgos de seguridad operacional.	42
Tabla 22 Porcentaje de cumplimiento de los requisitos.	43
Tabla 23 Costos anuales de dosimetría personal con detectores TLD.	44
Tabla 24 Costos anuales dosimetría ambiental con detectores TLD.	44
Tabla 25 Características técnicas (m).	45
Tabla 26 Resultados de tecnología usada para monitorear la radiación ocupacional.	46

Lista de ecuaciones

Pág.

Ecuación 1 Peso absoluto.....	19
Ecuación 2 Peso relativo.	19

1 INTRODUCCIÓN

La Seguridad Operacional y la Ingeniería Industrial en conjunto, tienen objetivos correlacionales comunes que buscan mitigar los riesgos profesionales, por ello se han determinado acoger las políticas de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) referentes al documento 9859 del 2009, la evaluación, la prevención, la intervención y el monitoreo de riesgos profesionales inherentes a la actividad laboral del Decreto 1477 del 2014, el objetivo en común es analizar la fuente de peligro para determinar las consecuencias y controlar los riesgos que afectan a las personas que realizan una labor u oficio, aunque convenir las consecuencias de los peligros e identificarlos en términos operacionales no aseguran la aplicación de medidas de mitigación, por el contrario, buscan evaluar la gravedad de las consecuencias, para así definir las prioridades en la asignación de recursos tecnológicos, humanos y proponer estrategias que permitan reducir sus efectos; con el fin de llegar a la identificación de los riesgos, se orientan las observaciones en los factores; Máquina, Humano y Medio Ambiental con el propósito de definir herramientas para la evaluación de dichos riesgos (ICRP 103, 2007).

1.1 Planteamiento del problema

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) en la Publicación 60 y 103 (ICRP publicacion 60, 1990), (ICRP 103, 2008) recomendó que la exposición por parte de las tripulaciones de aeronaves comerciales a la radiación cósmica debe estar incluidas dentro de la evaluación de la exposición ocupacional por parte de la organización de aviación para la cual se desempeña labor como tripulante (ICRP 84, 2010), la desintegración de los Rayos Cósmicos Galácticos (GCR) a través de la atmósfera terrestre genera un aumento de la tasa de dosis absorbida ocupacionalmente durante el tiempo que permanece la aeronave en los diferentes niveles de vuelo.

La radiación dentro de las cabina de pilotos y de pasajeros es uniforme lo que lo hace predecible (ICRP, 2010) por lo que la dosis equivalente anual de las tripulaciones de aeronaves se basan en valores calculados de la tasa de dosis efectiva de las simulaciones usando el software validado CARI-7A desarrollado por el Instituto Médico Aeroespacial Civil de la Federación de Administración Aeronáutica (FAA) de los Estados Unidos de América, el cual usa el modelo MCNPX 2.7.0 que tiene en cuenta los GCR (Pelowitz, 2011) (Copeland, 2017b).

En Colombia es obligatorio cumplir con métodos de dosimetría para monitorear la dosis ocupacional del personal expuesto a fuentes radiactivas, los tripulantes de aeronaves no son una población considerada ocupacionalmente expuesta a efectos de radiación ionizante por su labor, desconociendo los factores de riesgo inherentes a la actividad laboral (Decreto 1477, 2014) por lo que siguiendo las recomendaciones de la ICRP los tripulantes deben ser evaluados individualmente de forma rutinaria y periódica a través de detectores (ICRP, 2010) como si se hace con el personal de tierra que realiza pruebas no destructivas a las aeronaves, es así que para identificar la herramienta dosimétrica de uso rutinario e individual que tenga en cuenta los requisitos de la seguridad operacional se debe considerar:

¿Cuáles son las características que debe cumplir un dosímetro digital para ser usado como herramienta de dosimetría en el sector aéreo Colombiano?

1.2 Justificación

Según las regulaciones vigentes en Colombia, en lo concerniente a factores de riesgo inherentes a la actividad laboral (Decreto 1477, 2014), no se contempla ningún factor de riesgo ocupacional con respecto a efectos de la radiación cósmica sobre las tripulaciones de aeronaves y a pesar de no contar con regulaciones en Colombia por la Aerocivil, esta es regulada por la OACI la cual exige que las aeronaves tengan equipo para medir la radiación cósmica por encima de 49000 ft. (OACI, 2002) el interés de monitorear la dosis de radiación ocupacional, es atender las recomendaciones de la ICRP y de las organizaciones de aviación que deben monitorear los efectos de la radiación ionizante debido a que esta puede generar dosis superiores a 1 μSv al año, afectando principalmente a tripulantes del sexo femenino durante el embarazo (Tobergte & Curtis, 2013) y (ICRP, 2010).

Considerando que la ICRP involucra igualmente a las empresas del sector aéreo a controlar la dosis ocupacional de su personal (ICRP, 2010), estas no cuentan con herramientas implementadas en el sector aéreo en Colombia (Civil Aeronautics, 2016) para el personal de vuelo, pero sí para el personal en tierra que realiza pruebas no destructivas usando rayos X en los programas de mantenimiento, por lo que se evidencia la necesidad de los involucrados en monitorear con herramientas similares a las de la FAA y la Unión europea (UE) las dosis efectivas obtenidas ocupacionalmente, por lo cual facilitar dosímetros que permita mejorar la forma de adquirir los datos disminuyendo la incertidumbre estándar actual de 25% (ICRP, 2010) y así remplazar la tecnología de TLD (ICRP, 2010) de la UE y el maniquí antropomórfico de la FAA (Copeland, 2017b), de modo que conserve la calidad de los datos recolectados experimentalmente para ser introducidos en las herramientas de simulación como CARI-7A (Copeland, 2017b) de modo que no afecte la seguridad operacional, garantizando la calidad de los datos del dosímetro, indicando en tiempo real la dosis equivalente y cumpliendo las con las normas vigentes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Plantear un desarrollo conceptual de un dosímetro digital con el propósito de mejorar los métodos de medición de dosis de radiación equivalente actualmente utilizados en el sector aeronáutico en Colombia.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar un análisis de la literatura científica y técnica para establecer las tecnologías usadas en dosimetría e impacto en la seguridad operacional con relación a lo existente actualmente en el sector aéreo en Colombia.

Construir conceptualmente un dosímetro digital teniendo en cuenta los requisitos enmarcados en la dosimetría y la seguridad operacional.

Plantear un plan de implementación de medición de dosis equivalente con dosímetros digitales, teniendo en cuenta las necesidades de dosimetría en el sector aeronáutico colombiano.

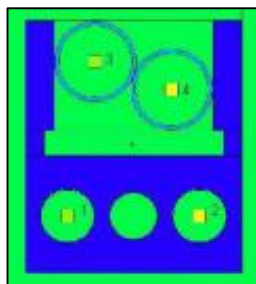
2 MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco teórico

En lo referente a los detectores desarrollados para medir dosis de radiación derivada de rayos X, gamma y neutrones proveniente de los RCG se distinguen los detectores termoluminiscente (TLD) los cuales en su gran mayoría son de composición química es de Li^6F y de Li^7F Mg conocidos como TLD-100 y TLD 200 los cuales son capaces de medir dosis de radiación equivalente dado que la industria Colombiana en general se ha inclinado por el uso de este tipo de detector (Cruzate, J.A, 2006), (Tawara, 2011) y (Dosimetrix, 2016).

El detector TLD se caracteriza por estar compuesto de materiales contributivos como se muestra en la Tabla 1. Los materiales de Li^6F y sus variaciones son colocados dentro de los círculos que se encuentran en la configuración interna del detector, ver Figura 1.

Figura 1 Configuración estructural interna de un detector TLD.



Fuente: (Cruzate, J.A, 2006)

Las características químicas de los componentes de los detectores TLD se observan en la tabla 1, observándose la densidad y las fracciones en peso de los materiales constitutivos.

Tabla 1 Características de los detectores TLD.

Material	Li^6F	Li^7F
Li^6F	0.229	0.00016
Li^7F	0.012	0.27
Flúor (natural)	0.758	0.73
Densidad	2.54	2.64

Fuente: (ICRP, 2008) (Cruzate, J.A, 2006)

La calibración de la dosis equivalente se realiza en acercar una fuente radiactiva que le permita penetrar 10 mm, también es conocido como dosis ambiental equivalente (H10)

(ICRP, 2008), (Tawara, 2011), (Cruzate, J.A.; Gregori, B.N.; Carelli & Aguerre, L.O. y Discacciatti, 2006).

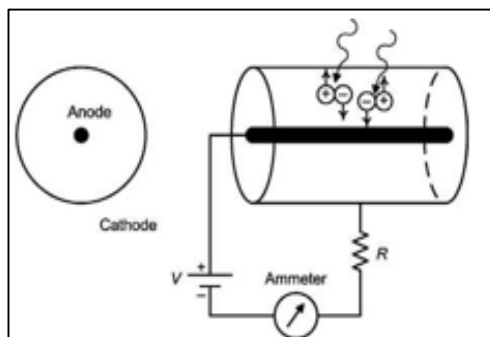
La lectura es obtenida después de someter al ambiente en periodos mínimos recurrentes de un mes por un tiempo de 12 meses. Las dosis de radiación son representadas en unidades de microsivert por año ($\mu\text{Sv año}$) (Dosimetrix, 2016) donde un micro es igual a ($\mu 10^{-6}$) y Sv es definido como la unidad que representa la radiación absorbida por la materia viva (ICRP, 2007).

Para una correcta indicación de la dosis de la radiación se sustraen los datos obtenidos de la exposición de los TLD a la fuente de radiación, la exposición ocupacional a la radiación y la dosis ambiental, a continuación se obtiene las lecturas en sí de los TLD calentando de manera controlada y midiendo la luz que los mismos emiten por medio de un fototubo, colectando la carga generada (Cruzate, J.A, 2006).

También en la industria se usan común mente los detectores Geiger Muller (Geiger & Müller, 1928) los cuales son capaces de medir radiación derivada de rayos X, gamma y neutrones proveniente de los RCG, la mayoría son desarrollados sobre una cámara metálica que contiene un gas confinado de diferentes tipos, neón, argón, helio y criptón, (Murray & Holbert, 2015) el gas es afectado por el elevador de voltaje conectado a la cámara haciendo que las colisiones puedan ser detectadas, lo que genera que se obtenga las indicaciones de conteos por minuto (CPM) de las desintegraciones que ocurren cerca del Geiger Muller, el detector es capaz de medir dosis de radiación equivalente ambiental (H 10) (ICRP, 2008), (Tasara, 2011), por lo que la industria ha tomado este tipo de tecnología para monitorear las dosis de radiación en tiempo real ver Figura 2.

El Geiger Muller se caracteriza por estar conformado por un ánodo, cátodo, un gas y un elevador de voltaje.

Figura 2 Partes del detector Geiger Muller.

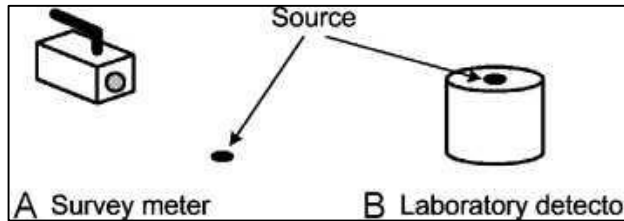


Fuente: (ICRP, 2008) (Cruzate, J.A, 2006)

La calibración de la dosis efectiva equivante se realiza después de acercar una fuente radiactiva calibrada a cierta distancia del detector, la radiación es indicada en CPM, estas

cuentas por minuto son divididas por 334 para obtener $\mu\text{Sv/hora}$ ver Figura 3 (Cruzate, J.A, 2006), (Geiger & Müller, 1928) y (Murray & Holbert, 2015).

Figura 3 Calibración del detector Geiger Muller.

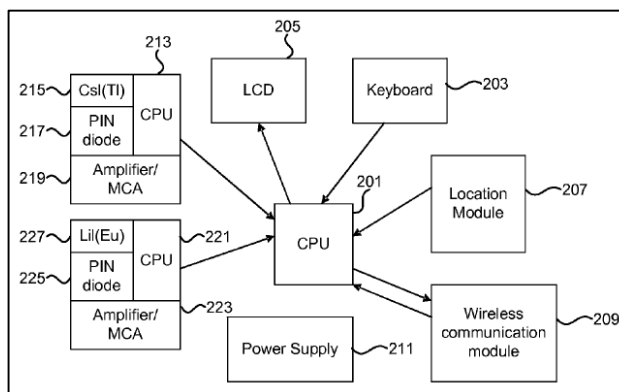


Fuente: (Asorey, 2012; Cruzate, J.A. y Discacciatti, 2006)

Adicionalmente se encuentran detectores de centelleo que usan el cristal compuesto de Eu (Europio) ver Figura 4, el cual pertenece a las tierras raras, la característica especial es la absorción de neutrones, en combinación con Cs (Cesio) y Li (litio) es capaz de medir radiaciones beta, alfa, gamma y neutrones, con la mejora considerable de conectarse por el sistema de fidelidad inalámbrica, a través de una Unidad Central de Procesamiento (CPU), uno de los problemas en particular es la sensibilidad en la detección de la radiación al disminuir el tamaño del detector, una miniaturización puede causar que el detector no registre apropiadamente dosis de la radiación real, la cual es originada por la radiación ionizante detectada mediante pequeños centellos dentro del cristal, por lo que la miniaturización puede causar que el detector no separe apropiadamente la radiación de fondo y la radiación producida por la fuente que se esté observando (Alexander N. Gordeev, 2012).

La calibración de la dosis de radiación se realiza por medio de algoritmos especiales de forma lógica que filtran eventos falsos.

Figura 4 Detector de cristal de Europio.



Fuente: (Alexander N. Gordeev, 2012)

Los detectores de tipo TLD, Geiger Muller y de cristal de Europio, se ha usado para medir las dosis ocupacionales de la población expuesta a fuentes radiactivas, de esta manera las

industrias que realizan operaciones con exposición de su personal a fuentes radiactivas, determinen la dosis equivalente o (H10) la cual corresponde a la magnitud física que describe los efectos de la radiación sobre el cuerpo humano con una penetración de la radiación sobre un tejido u órgano (Asorey, 2012), (Cruzate, J.A. y Discacciatti, 2006).

De esta manera los diseños conceptuales desarrollados para la fabricación de detectores dependen de los requisitos del cliente, que tengan las organizaciones o el área técnica que requiera del uso de herramientas dosimétricas de acuerdo a la fuente radioactiva que se este monitoreando, para el sector aeronáutico, el área de relevancia se enfoca a las actividades vigiladas por la seguridad operacional, término acuñado por la OACI el cual estudia los aspectos cualitativos más que cuantitativos de lo que es tolerable y lo que no, por lo que convenir conceptualmente los requisitos del sector aeronáutico permite minimizar los riesgos definidos por la ICRP, la cual encuentra que los tripulantes expuestos a los GCR ocupacionalmente, pueden superar 1 mSv al año lo que para ICRP es un personal que esta ocupacionalmente expuesto (Civil Aeronautics, 2016), (Copeland, 2017), (ICAO, 2006), (ICRP, 2010) y (OACI, 2002).

Pero no solo el personal de vuelo se expone ocupacionalmente a fuentes radioactivas también lo hace el personal que se expone a radiación X por el uso de equipos de radiografía que se usan para hacer pruebas no destructivas (NDT), en las estructuras que conforman las aeronaves, para terminos prácticos el personal tanto en tierra como en vuelo se expone ocupacionalmente a las mismas radiaciones ionizantes (Civil Aeronautics, 2016), (Copeland, 2017), (ICAO, 2006), (ICRP, 2010) y (OACI, 2002).

Por lo tanto el desarrollo conceptual de un dosímetro digital no solo permite ofrecer al personal de vuelo una herramienta que cubre la necesidad ocupacional de medir la radiación equivalente en vuelo, si no también permite que personal de tierra, mejore los métodos de medición actualmente usados en la industria aeronáutica (Apparao & Birru, 2017).

Es por eso que desarrollar conceptualmente un detector deberá generar las bases posteriormente para el diseño de detalle y de su fabricación, el resultado conceptual es enfocado creativamente en determinar distintas soluciones, al comprender los requisitos del cliente. Siguiendo la metodología del despliegue de la función de la calidad (QFD) determina funcionalmente los criterios operativos en el sector aéreo, involucrando directamente la seguridad operacional la cual se enfoca en mitigar los riesgos operacionales y laborales en tierra y en vuelo, para lo cual se desarrollan los diseños conceptuales que se basan en la idea de materializar las funciones descriptivas del cliente y de los requerimientos del sector aéreo, perteneciente a la relatividad de los efectos teóricos de la radiación (Apparao & Birru, 2017).

la metodología QFD logra establecer el diseño conceptualmente ver Tabla 2, enfocado en las expectativas del sector aéreo en pasos sucesivos, permitiendo reducir el tiempo de ensayo y error, mejorando el resultado en eficiencia y calidad del diseño conceptual del detector, lo que establece relaciones fuertes o débiles entre las características técnicas (j) y requisitos del cliente (Ci) determinada por la ecuacion 1, reconociendo criterios de selección de las alternativas posibles para en el diseño (Apparao & Birru, 2017).

Ecuación 1 Peso absoluto.

$$W_{Aj} = \sum_{i=1}^m C_i \times R_{ij}$$

Fuente:(Apparao & Birru, 2017)

Donde W_{Aj} es el **peso absoluto** de las características técnicas, donde (m) es la descripción técnica considerada con el propósito de satisfacer las necesidades del cliente y [(i) = 1, 2...n] es el número de requisitos del cliente, (C_i) es la importancia de los requisitos del cliente, (R) es el peso asignado en la relación a (i) los requisitos del cliente y (j) características técnicas (Apparao & Birru, 2017).

Ecuación 2 Peso relativo.

$$W_{Rj} = \frac{W_{Aj}}{\sum_{j=1}^n W_{Aj}}$$

Fuente: (Apparao & Birru, 2017)

Donde W_{Rj} es el **peso relativo** de las descripciones técnicas, donde (n) es la descripción de los requerimientos del cliente (Apparao & Birru, 2017).

Tabla 2 Relación gráfica entre conceptos derivados de la etapa inicial creativa de un diseño.

	Conceptual: Pertenece o relativo al concepto.
Desarrollo: Acción y efecto de desarrollar o desarrollarse.	Es la explicación en pasos sucesivos de manera cualitativa o cuantitativa por medio de un proceso de selección de alternativas basadas en conceptos creativos.
Diseño: Concepción original de un objeto u obra destinados a la producción en serie.	Creación gráfica a partir de un planteamiento creativo basado en conceptos funcionales asignados.

Fuente: (RAE, 2018).

2.2 Marco conceptual

Para el desarrollo conceptual del detector recopilamos información de los requerimientos del cliente (n) para conocer como desea el cliente que funcione el sistema, usando la metodología de diseño Quality Function Deployment o despliegue de la función de calidad (QFD) (Apparao & Birru, 2017).

Las características técnicas (j) necesarias para la aviación se basan en los datos requeridos del programa CARI -7A ver Figura 9, fecha del vuelo, código OACI de aeropuerto origen y destino, nivel de vuelo (FL), tiempo durante FL en ruta, nivel de FL en crucero, tiempo FL de crucero y tiempo de descenso (Copeland, 2017).

Cada una de las características técnicas son tenidas en cuenta al momento de decidir las partes que conforman funcionalmente el detector desde el punto de vista técnico, que posteriormente será validado durante la simulación en CARI -7A ver Tabla 3.

Tabla 3 Características técnicas requeridas por CARI-7A para el GPS.

Requerimientos del cliente (n)		
Fecha del vuelo	GPS	AAAA-MM-DD
Código OACI de aeropuerto origen	GPS	SKCG
Código OACI de aeropuerto destino	GPS	SKBO
Nivel de vuelo (FL)	GPS	M
Tiempo durante FL en ruta	GPS	Min
Nivel de FL en crucero	GPS	M
Tiempo FL de crucero	GPS	Min
Tiempo de descenso	GPS	Min

Fuente: (Copeland, 2017).

Por las condiciones especiales requeridas por CARI-7A los detectores TLD, no cuentan de manera técnica para hacer líneas de código con dicha información autónomamente por lo que un Geiger Muller a través de una placa de Raspberry Pi o de Arduino ver Figura 8 permite obtener datos en $\mu\text{Sv/h}$ o CPM sincronizados con los datos recolectados del GPS ver Tabla 3, teniendo en cuenta la características técnicas necesarias del GPS sobre la placa ver Tabla 4.



Tabla 4 Características técnicas del GPS.



Detalle de los requerimientos del cliente (n)
Voltaje de alimentación: el rango de voltaje de alimentación deberá estar de 8 a 32 Voltios DC.
Soporta transmisión de datos híbrida (celular y satelital).
sim permitidos.
Frecuencia parametrizable de adquisición de posición: transmisión cada segundo en redes satelitales y en redes celulares uso de 2g y superior.
Precisión de posición menor a 10 metros (en operación de unidades con transmisión satelital con mínimo en uso de 40 canales y con transmisión GPRS (General Packet Service) para ser usado por el sistema Wireleess (Wi-Fi) con mínimo en uso de 20 canales).
Envío de histórico de su posición en caso de pérdida de cobertura.
Batería de back up (autonomía de por lo menos de 72 horas).
Antenas GPS internas y externas.
Firmware actualizable.
Puerto para programación y conexión con periféricos.
Configuración del equipo vía remota almacenamiento de información en el equipo: hasta de 64 gigas.
Software programable (dispositivo permisible de actualización) para compatibilidad con la plataforma de CARI-7 ^a .
Indicadores luminosos para conocer el estado del equipo (encendido/apagado).
Indicar en pantalla oled.

Fuente: (Apparao & Birru, 2017).

Según el funcionamiento del Geiger Muller ver Figura 2 y Figura 6 el cual requiere de tener de un elevador de voltaje ver Figura 7, para generar un campo eléctrico sobre el cátodo (pared de la cámara que contiene el gas) y el ánodo (compuesto por un electrodo central) el cual ayuda a que los impulsos de la corriente sean del mismo tamaño, lo hace independientemente para que los electrones por si mismos no generen ionización dentro de la cámara que contiene el gas.(Geiger & Müller, 1928) (Murray & Holbert, 2015) haciendo que aumente la calidad de los datos que se recolectan de la radiación x, gamma y de neutrones.

Tabla 5 Características técnicas conceptuales de las partes incorporadas para el detector que se pueden conseguir en el comercio.

Herramienta	Descripción de los requerimientos del cliente (n)
<div>Figura 5 GPS opcional</div> <div></div> <div>Fuente: Propia</div>	<p>GPS, permite obtener indicación de latitud, longitud.</p>
<div>Figura 6 Geiger Muller usado en la industria actualmente</div> <div></div> <div>Fuente: Propia</div>	<p>Geiger Muller está compuesto de un material metálico en su exterior que a su vez contiene un gas que a través de un conector pasa electricidad desde el elevador de voltaje.</p>

<p>Figura 7 Elevador de voltaje conectado al Geiger Muller</p>  <p>Fuente: Propia</p>	<p>Compuesto por una placa que está conectado al ánodo, con 3 tipos de resistencias de referencia 2205.</p>
<p>Figura 8 Placa de arduino</p>  <p>Fuente: Propia</p>	<p>El arduino está compuesto por un procesador de mega 3.2 8 p, Referencia AU 1643 el cual permite programación, de manera fácil, a través de él se realiza la adquisición de datos para diferentes procesos.</p>

Fuente: Propia

Figura 9 Requerimiento de simulador de dosis CARI -7A.

```

CARI-7A (ACADEMIC USE)          Civil Aerospace Medical
Release June 12, 2017 (v3.12)   Federal Aviation Admini

SELECT RADIATION.
<0> TOTAL          <10> DEUTERONS      <20>F      <30>K
<1> NEUTRONS       <11> TRITONS        <21>Ne     <31>Ca
<2> PHOTONS        <12> HELIONS        <22>Na     <32>Sc
<3> ELECTRONS      <13> ALPHAS         <23>Mg     <33>Ti
<4> POSITRONS      <14> Li             <24>Al     <34>V
<5> NEG. MUONS     <15> Be             <25>Si     <35>Cr
<6> POS. MUONS     <16> B              <26>P      <36>Mn
<7> PROTONS        <17> C              <27>S      <37>Fe
<8> POS. PIONS     <18> N              <28>Cl
<9> NEG. PIONS     <19> O              <29>Ar
Enter 0-37 and press <enter>.

SELECT COSMIC RAY MODEL
<1> GCR: ISO TS15390:2004-MSU-NYMMIK
<2> GCR: BADHWAR-ONEILL 2011 USING INTL SUNSPOTS
<3> USE DEFAULT
<4> GCR: HP MODULATED ISO
<5> SPE: LaRC SEP 1989 EVENT TOTAL
<6> SPE: LaRC FEB 1956 EVENT TOTAL
<7> USER SELECTED: GCR_MODELS\MY_MODEL.OUT

SELECT DOSE TYPE
<1> SECONDARY PARTICLE FLUENCE
<2> ICRP PUB 103 EFFECTIVE DOSE
<3> ICRP PUB 60 EFFECTIVE DOSE
<4> ICRU H*(10) AMBIENT DOSE EQUIVALENT
<5> WHOLE BODY ABSORBED DOSE

USE THE SUPERPOSITION APPROXIMATION <Y,N> ?
      (DEFAULT IS N)

USE DATES FROM FLIGHT DATA FILE <Y,N> ?

ENTER A DATE FOR FLIGHT(S) <YYYY/MM/DD>
      (USE MM=00 AND DD=00 TO USE YEARLY AVERAGE)
      (USE DD=00 TO USE MONTHLY AVERAGE)
M=10 DD=10
WRONG FORMAT: RE-ENTER

```

Fuente: (Copeland, 2017).

CARI 7 Cuenta inicialmente hace una descripción de la radiación a monitorear en el primer nivel en los numerales del 0 al 37 en el segundo nivel se selecciona el modelo de simulación validado de los numerales del 1 al 7, para el tercer nivel se selecciona el tipo de dosis de los numerales 1 al 5, para el cuarto nivel se relaciona la fecha del vuelo.

El contenedor que protegerá la estructura electrónica interna del detector es de polímero el cual no afectara la indicación debido al margen de penetración que tiene la radiación x, γ y neutrones provenientes de los GCR al usar el equipo de radiografía estructural en los aviones.

Después de establecer la características técnicas el desarrollo conceptual se orienta a los requisitos del cliente los cuales están enfocados a satisfacer dos áreas, una es la exposición de radiación por parte de los GCR tipificados en la OACI, las recomendaciones de la ICRP y las exposiciones a fuentes radiactivas de equipos industriales tipificados en por el Gobierno Nacional Colombiano.

3 ANÁLISIS DE LOS ANTECEDENTES EN LA LITERATURA CIENTÍFICA Y TÉCNICA

3.1 Herramientas de dosimetría

El detector TLD es usado para monitorear las dosis de radiación ocupacional de las fuentes radiactivas de los diferentes sectores industriales en cumplimiento de las regulaciones del gobierno Colombiano, debido al bajo costo de implementación el cual por unidad es de \$110,000 (COP) para el 2016 (Dosimetrix, 2016), los detectores tienen la capacidad de medir rayos X, gamma y neutrones proveniente de los RCG, incluso han sido usados para experimentos científicos en el espacio (Tawara, 2011), los detectores se implementaron para medir la dosis total absorbida y equivalentes de la radiación en los entornos de la Estación espacial internacional (ISS), donde la transferencia lineal de energía (TLE) de radiación ionizante oscila entre 0,2 Kev como mínimo a 103 keV lo que es igual a $3.2043546 \times 10^{-17}$ y $1.650242619 \times 10^{-14}$ J. respectivamente (Dachev, & Tomov, 2016) y (Tawara, 2011).

3.2 Organizaciones y los métodos implementados

La Unión Europea (UE) en 2004 uso 30 TLD de composición de (7LiF:Mg,Ti), como detectores pasivos dentro de una caja de policarbonato, la determinación de la dosis se obtuvo de la sustracción del cálculo de la contribución de la energía de la radiación ionizante solamente de los neutrones de alrededor de 10 % (Copeland, 2017), mediante una calibración de $H^*(10)$ para un campo de fotones de Cs 137 de esta forma se realizó la medición experimental (Spurny, 2004).

En la segunda parte del trabajo realizado por la UE consistió en reunir un grupo de científicos que aportarán sus investigaciones independientes y los instrumentos computacionales usados por ellos para determinar las dosis de radiación en las tripulaciones de aeronaves, unos 10000 datos de resultados de tasas de dosis y más de 400 rutas de los últimos 10 años se recopilaron (Spurny, 2004).

La colaboración científica contribuyó con cálculos elaborados en diferentes programas de simulación entre ellos CARI (<http://www.ami.jccbi.gov/AAM-600/Radiobiology/600radio.html#CARI6ZIP>), EPCARD (<Http://www.gsf.de/epcard/>), FREE (De@Ce@iason.at), CARI (<http://members.Rogers.com/pcaire/home.htm>), Sievert (<http://www.Sievert-system.org/>), (M. Pelliccioni, INFN Laboratori Nazionali di Frascati, ME 00044 Frascati, Italia) y (ICRP, 2013).

Es así que sobre la base de cálculos FLUKA, es basado en análisis de grandes volúmenes de información por lo que se requiere de súper cómputo lo que lo hace costoso a diferencia de los TLD, a través de FLUKA son monitoreados los programas CARI, FREE y EPCARD,

entregando resultados de la dosis efectiva y dosis equivalente ambiental. Esta última es determinada por la calidad de los instrumentos durante la toma de datos, por lo que CARI calcula sólo la dosis efectiva y está basado en resultados experimentales de mediciones a bordo de aviones, por esta razón FREE está relacionado con CARI a si mismo ocurre con los programa SIEVERT y EPCARD, la entrada de datos iniciales para el cálculo no es única de un solo programa, entonces es posible comparar los resultados experimentales con los resultados de todos los códigos de simulación (ICRP, 2013) y (Spurny, 2004).

Por el contrario el programa de simulación CARI-7A, desarrollado en la Administración Federal de Aviación (FAA) del Instituto Médico Aeroespacial Civil, el cual usa el modelo MCNPX 2.7.0, tiene en cuenta los GCR, los cuales están conformados alrededor de un 85% de protones, 14% partículas como neutrones y 1% de núcleos más pesados (Copeland, 2017) (Pelowitz, 2011) (Copeland, 2017), CARI -7A calcula la dosis efectiva de radiación cósmica recibida por un tripulante de aeronave (sobre la base de un maniquí antropomórfico que funciona como detector remplazando a los TLD usados por UE para este caso se hace referencia la calidad del detector) (Copeland, 2017).

CARI-7A tiene gran diferencia con las herramientas de simulación que UE uso para determinar las dosis efectivas durante las operaciones aéreas, CARI -7A es el resultado de los cálculos obtenidos y datos recogidos de aeronaves tripuladas desde 1958, como consecuencia se obtiene una herramienta validada para determinar las dosis ocupacionales sin incluir en la simulación datos añadidos. CARI-7A tiene en cuenta datos experimentales con aeronaves que desarrollaron operaciones a distintos niveles de vuelo (FL) de 300 FL expresados en unidades de cientos de pies, estas simulaciones necesitan de archivos de extensión (.DEG) donde separadamente por comas o puntos la programación específica la trayectoria del vuelo considerando las coordenadas astronómicas y el tiempo de vuelo en minutos (Bessel, 1826), (Vincenty, 1975, 1976), (Basto & Moreno, 2018), (Copeland, 2017) y (ICRP, 2010).

3.1 Definición por parte de las organizaciones aeronáuticas

En particular el sector aéreo mundial a partir de distintas colaboraciones obtuvo una herramienta que le permite regionalmente a cada organización aérea establecer las dosis de radiación efectiva y equivalente ambiental de los tripulantes, cumpliendo así las políticas de ICRP de considerar a esta población expuesta a la radiación ocupacionalmente, (ICRP, 2010) (Copeland, 2017b), (Pelowitz, 2011), CARI-7A en particular tiene en cuenta los valores simétricos promediados de ascenso y descenso $v_a = v_d = \text{ft/min}$ y velocidad de crucero $v_c = \text{ft/min}$, los tiempos de vuelo son considerados de manera precisa teniendo el calculo de la geometría de la tierra, como referencia se usa el modelo (WGS84). (Basto & Moreno, 2018) y (Copeland, 2017b).

3.2 Resultados obtenidos por las organizaciones

Por lo tanto la Union Europea en 2004 en colaboración con varias organizaciones de aviación determino adoptar disposiciones en los estados miembros sobre las compañías aéreas, las cuales deberán tener en cuenta la exposición a la radiación cósmica del personal de tripulación de aeronave, que pueden estar expuestos ocupacionalmente a más de 1 mSv por año adicional al grupo poblacional no expuesto a fuentes radiactivas de acuerdo a las recomendaciones de la ICRP, (Basto & Moreno, 2018), (Copeland, 2017), (ICRP, 2010) y (ICRP, 2008).

Las colaboraciones gubernamentales en especial la FAA permite que organizaciones incritas a la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) puedan obtener sus propios resultados de dosis equivalentes en las tripulaciones de aeronaves, mediante el modelo MCNPX 2.7.0 de los GCR los cuales son validados al comparar los resultados con el modelo Badhwar-O'Neill (BO11) (Myung-Hee. Kim, 2014) los dos modelos de simulación caracterizan la radiación ionizante similarmente de acuerdo a los datos recolectados del vehiculo Explorador de Composición Avanzada (ACE) de la NASA, por lo que el modelo BO11 fué incorporado a las mediciones de naves espaciales que realizarón sus operaciones en orbitas terrestres de baja altura lo que le dan validez como herramienta de simulación de dosis efectiva a CARI-7A (Myung-Hee Y. Kim et al., 2014).

3.3 Pertinencia metodológica

Los resultados obtenidos por los métodos usados por FAA y la UE para evaluar las dosis equivalentes en las tripulaciones sirven como orientación técnica para otras organizaciones de aviación incritas a la OACI que a la fecha no realizan estudios similares como la Aeronautica Civil Colombiana, adicionalmente la ICRP en sus recomendaciones advierte que no solo las organizaciones de aviación son las llamadas a realizar la evaluación de las dosis de radiación obtenidas ocupacionalmente en las tripulaciones de aeronaves comerciales, dada la responsabilidad de la seguridad laboral de los trabajadores recae también sobre las empresas que desarrollan operaciones aéreas, debido a que sus tripulantes estan expuestos ocupacionalmente por los RCG como fuente radiactiva, asi mismo las regulaciones Colombianas también comparten la preocupaci3n sobre las patologias derivadas de la exposici3n a fuentes de radiaci3n (Decreto 1477, 2014) y (ICRP, 2010).

4 CONSTRUCCION CONCEPTUAL DEL DOSIMETRO DIGITAL

En esta fase se definen los requisitos del cliente representado por la letra (i) en la fórmula de peso absoluto ver Ecuación 1, permitiendo examinar conceptualmente el problema como funciones que debe cumplir el dosímetro digital a través de caracterizar dos tipos de requisitos formales (Dosimetría) y requisitos informales (Seguridad Operacional) los primeros describen los requisitos funcionales para el dosímetro digital, los últimos son los requerimientos sugeridos por la seguridad operacional y sus beneficiarios ver Tabla 6 (ICAO, 2006).

Tabla 6 Requisitos del cliente (i).

Requerimientos del Cliente (i)
Requerimientos del cliente desde la seguridad operacional
1.1 Que tenga bajos costos de inversión para la implementación.
1.2 Que el mantenimiento del equipo sea fácil y económico.
1.3 Que no afecte la visibilidad la cabina de pilotos.
2.1 Que sea de fácil monitoreo y de generación de alarma en caso de elevado riesgo radioactivo.
2.2 Que sus componentes no afecten físicamente la aeronave.
2.3 Que no afecte la navegación aérea.
2.4 Que sus componentes sean fáciles de fabricar.
2.5 Que tenga una manipulación segura, no afecte la seguridad operacional.
2.6 Que su operación sea sencilla y económica.
4.1 Que no genere consecuencias negativas para el ambiente.
3.2 Que tenga una manipulación segura y fácil de interpretar.
3.3 Que sea fácil de transportar.
3.4 Que sea fácil de instalar.
4.1 Que no genere consecuencias negativas para el ambiente.
4.2 Que sus componentes sean reciclables.
4.3 Que sus repuestos sean económicos y asequibles.
Requerimientos cliente desde la dosimetría
1.4 Que los costos de ensamblaje sean bajos.
3.1 Que el sistema tenga autonomía energética.
3.5 Que sea de fácil repetición la toma de las muestras de radiación.
3.6 Que las unidades de dosimetría sean en unidades de $\mu\text{Sv/h}$ (microsivert/hora).
3.7 Que mida dosis de radiación x, gamma y neutrones, con una desviación estándar menor a 30, en los puestos de trabajo del personal expuesto a fuentes radiactivas.
3.8 Que se establezca el tipo de energía ionizante a identificar.

Fuente: (Laloix, 2017), (Braun, 2015) y (Álvarez, 2015).

4.1 Identificación de atributos en el sector aeronáutico en relación a la dosimetría

Tabla 7 Identificación de atributos.

Objetivos
1.1 Que tenga bajos costos de inversión para la implementación.
1.2 Que el mantenimiento del equipo sea fácil y económico.
1.3 Que sus repuestos sean económicos y asequibles.
1.4 Que los costos de ensamblaje sean bajos.
2.1 Que sea de fácil monitoreo y de generación de alarma en caso de elevado riesgo radioactivo.
2.2 Que sus componentes no afecten físicamente la aeronave.
2.3 Que no afecte la navegación aérea.
2.4 Que sus componentes sean fáciles de fabricar.
2.5 Que tenga una manipulación segura, no afecte la seguridad operacional.
2.6 Que su operación sea sencilla y económica.
3.1 Que el sistema tenga autonomía energética.
3.2 Que tenga una manipulación segura y fácil de interpretar.
3.3 Que sea fácil de transportar.
3.4 Que sea fácil de instalar.
4.1 Que no genere consecuencias negativas para el ambiente.
4.2 Que sus componentes sean reciclables.
4.3 Que no afecte la visibilidad la cabina de pilotos.
Restricciones
3.5 Que sea de fácil repetición la toma de las muestras de radiación.
3.6 Que las unidades de dosimetría sean en unidades de uSv/h (microsievert/hora).
3.7 Que mida dosis de radiación x, gamma y neutrones, con una desviación estándar menor a 30, en los puestos de trabajo del personal expuesto a fuentes radiactivas
3.8 Que se establezca el tipo de energía ionizante a identificar.
FUNCIONES
Que sirva como herramienta en el área de dosimetría identifique la magnitud de la radiación, en relación a la altura de vuelo, con el fin de gestionar el riesgo radioactivo en miembros de tripulaciones de aeronaves,
Almacenamiento de datos por tiempo prolongado.

Fuente: (Laloix, 2017), (Braun, 2015) y (Álvarez, 2015).

Cada requisito del cliente caracteriza las funciones a desempeñar por el área que monitorea la dosis de radiación, por lo que los **objetivos, restricciones y funciones** se identifican como los atributos necesarios para satisfacer el sector aeronáutico, ver Tabla 7.

4.2 Cubrimiento de objetivos jerárquicos en el sector aeronáutico en relación a la dosimetría.

Los objetivos enunciados cumplen los requisitos del cliente (i) permitiendo visualizar conceptualmente el funcionamiento general del dosímetro digital, identificando de esta manera los objetivos de **diseño, costos, logística, medio ambiente**, esto se hace para asignar un grado de jerarquía a cada uno, con la finalidad de orientar las relaciones objetivos jerárquicos y durante el proceso de diseño conceptual ver Tabla 8.

Tabla 8 Objetivos Jerárquicos.

COSTOS	DISEÑO	LOGÍSTICA	MEDIO AMBIENTE
1.1 Que tenga bajos costos de inversión.	2.1 Que sea de fácil monitoreo y de generación de alarma en caso de elevado riesgo radioactivo.	3.1 Que el sistema tenga autonomía energética.	4.1 Que no genere consecuencias negativas para el ambiente.
1.2 Que el mantenimiento del equipo sea fácil y económico.	2.2 Que sus componentes no afecten físicamente la aeronave.	3.2 Que sus repuestos sean asequibles.	4.2 Que sus componentes sean reciclables.
1.3 Que sus repuestos sean económicos.	2.3 Que no afecte la navegación aérea.	3.3 Que sea fácil de transportar.	4.3 Que no afecte la visibilidad de la cabina de pilotos.
1.4 Que los costos de ensamblaje sean bajos.	2.4 Que sus componentes sean fáciles de fabricar.	3.4 Que sea fácil de instalar.	
	2.5 Que tenga una manipulación segura, no afecte la seguridad operacional.	3.5 Que sea de fácil repetición la toma de las muestras de radiación	
	2.6 Que su operación sea sencilla y económica.	3.6 Que las unidades de dosimetría sean en unidades de $\mu\text{Sv/h}$ (microsievert/hora).	
		3.7 Que mida dosis de radiación x, gamma y neutrones, con una desviación estándar menor a 30, en los puestos de trabajo del personal expuesto a fuentes radiactivas	
		3.8 Que se establezca el tipo de energía ionizante a identificar.	

Fuente: (Laloix, 2017), (Braun, 2015) y (Álvarez, 2015).

La metodología de QFD entra en su fase explicativa en la medida en que se presenten los resultados, permitiendo diseñar una propuesta para cubrir los requisitos del cliente (i) del

sector aéreo en relación a la dosimetría de equipos digitales en el sector aeronáutico en Colombia.

4.3 Comparación de pares de objetivo

En esta etapa se presenta la relación de importancia que los objetivos mantienen entre sí ver Tabla 9, tomando como punto de comparación las filas frente las columnas. Asignando un valor numérico que representa la importancia de un objetivo con respecto a otro, con el propósito de mantener un control durante el proceso de diseño, en la que se presentan los objetivos de primer nivel (diseño, costo, logística y medio ambiente). Posteriormente se establece la comparación entre los grados de importancia para los objetivos de segundo nivel ver Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13.

Tabla 9 Objetivos de primer nivel.

Factores A Evaluar	1.Costos	2.Diseño	3.Logística	4.Medio Ambiente	Peso ponderado (R)	Peso de los requerimientos del cliente (i)
1 Costo	3	4	4	4	15	0,420639372
2 Diseño	0,25	3	3	4	10,25	0,287436904
3 Logística	0,25	0,33	3	3	6,58	0,184520471
4 Medio Ambiente	0,25	0,25	0,33	3	3,83	0,107403253
TOTAL					35,66	1
NOTA: los valores de las calificaciones son los siguientes: 1-Mucho Menos Importante, 3- Igual de Importante, 5-Más Importante.						

Fuente: (Laloix, 2017), (Braun, 2015) y (Álvarez, 2015).

Tabla 10 Objetivos de segundo nivel; Costos.

1. COSTOS						0,420639372 (i)	
Criterio	1,1	1,2	1,3	1,4	Total peso ponderado (R)	Peso Relativo (W_r)	Peso Absoluto (W_A)
1,1	3	3	2	5	13	0,353934114	0,148878623
1,2	0,33	3	5	4	12,33	0,335692894	0,141205648
1,3	0,5	0,2	3	4	7,7	0,209637898	0,088181954
1,4	0,2	0,25	0,25	3	3,7	0,100735094	0,042373147
TOTAL					36,73	1	0,420639372

Fuente: (Laloix, 2017), (Braun, 2015) y (Álvarez, 2015).

Tabla 11 Objetivos de Segundo nivel; Diseño.

2. DISEÑO								0,287436904 (i)	
Criterio	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	P ponderado (R)	P Relativo (W_r)	P Absoluto (W_A)
2,1	3	3	3	4	3	4	20	0,268420346	0,077153913
2,2	0,33	3	3	4	4	4	18,33	0,246007247	0,070711562
2,3	0,33	0,33	3	4	4	4	15,66	0,210173131	0,060411514
2,4	0,25	0,25	0,25	3	3	2	8,75	0,117433901	0,033754837

2,5	0,33	0,25	0,25	0,33	3	3	7,16	0,096094484	0,027621101
2,6	0,2	0,25	0,33	0,5	0,33	3	4,61	0,06187089	0,017783977
TOTAL							74,51	1	0,287436904

Fuente: (Laloix, 2017), (Braun, 2015) y (Álvarez, 2015).

Tabla 12 Objetivos de Segundo nivel; Logística.

3, LOGÍSTICA										0,184520471 (i)	
Criterio	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	Peso ponderado (R)	Peso Relativo (W _r)	Peso Absoluto (W _A)
3,1	5	4	4	4	3	3	3	3	29	0,15058677	0,02778634
3,2	0,25	5	4	4	3	3	3	3	25,25	0,13111434	0,02419328
3,3	0,25	0,25	3	3	3	3	3	3	18,5	0,09606397	0,01772577
3,4	0,25	0,25	0,33	3	3	3	3	3	15,83	0,08219961	0,01516751
3,5	3	3	3	3	5	3	3	3	26	0,13500883	0,02491189
3,6	3	3	3	3	3	5	3	3	26	0,13500883	0,02491189
3,7	3	3	3	3	3	3	5	3	26	0,13500883	0,02491189
3,8	3	3	3	3	3	3	3	5	26	0,13500883	0,02491189
TOTAL									192,58	1	0,18452047

Fuente: (Laloix, 2017) y (Álvarez, 2015).

Tabla 13 Objetivos de Segundo nivel; Medio Ambiente.

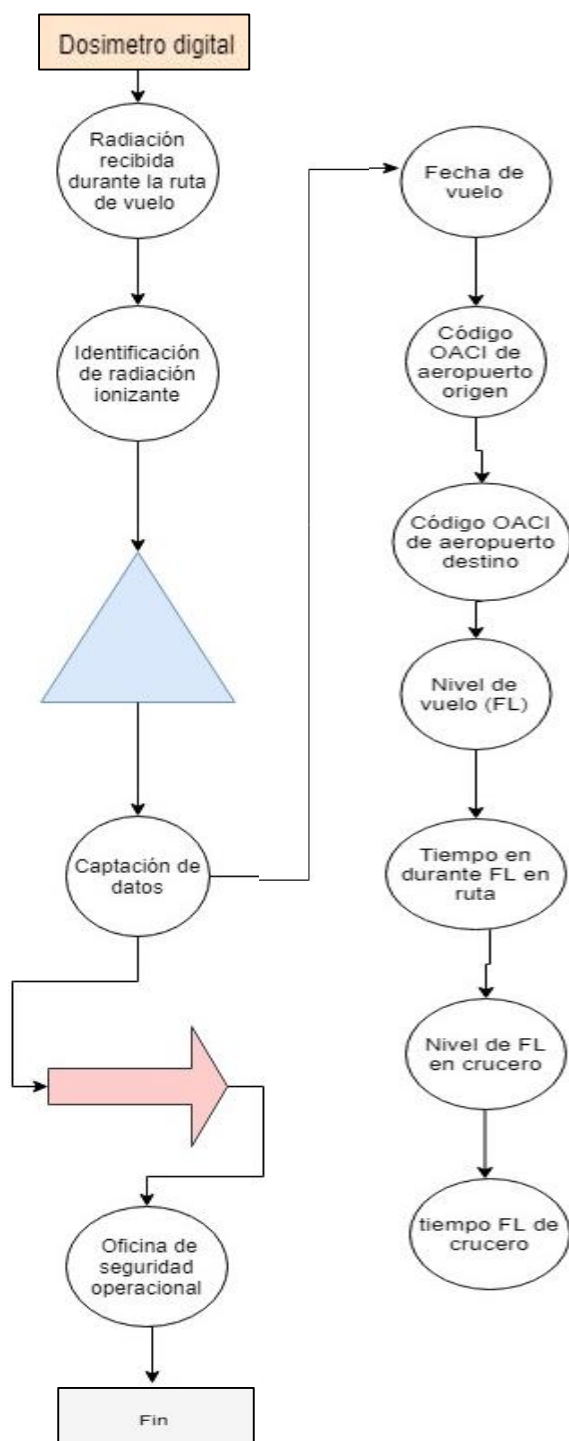
4. MEDIO AMBIENTE					0,107403253 (i)	
Criterio	4,1	4,2	4,3	Peso ponderado (R)	Peso Relativo (W _r)	Peso Absoluto (W _A)
4,1	3	4	5	12	0,50739958	0,054496365
4,2	0,25	3	5	8,25	0,34883721	0,037466251
4,3	0,2	0,2	3	3,4	0,14376321	0,015440637
TOTAL				23,65	1	0,107403253

Fuente: (Laloix, 2017) y (Álvarez, 2015).

4.4 Diagrama de funciones

En el diagrama de funciones consigue apreciar de forma conceptual el funcionamiento del detector, logrando definir el proceso de toma de datos consistente en registrar digitalmente las maniobras que realiza la aeronave, con el fin de calcular la dosis equivalente que el detector recibe de la radiación x, gamma y neutrones, ver Figura 10.

Figura 10 Diagrama de funciones.



Fuente: Elaboración propia.

4.5 Lista de especificaciones

A continuación se presenta en detalle los requerimientos del cliente (i) con su grado de importancia en porcentaje, lo que expresa cuantitativamente la importancia definida con valores entre (0) como la mínima expectativa y (5) la máxima expectativa, lo que permite definir la importancia de los requisitos del cliente (Ci) definido por la ecuación 1 y 2, de acuerdo a la tecnología que usa el detector para obtener los datos de la radiación.

Tabla 14 Grado de impacto con respecto a los requisitos del cliente.

[(i) = 1, 2...n] numero de requisitos del cliente	Requisitos del cliente (m)	Pesos ponderados (R)	Importancia de los requisitos del cliente tecnología (Ci)					
			(1)Modelo conceptual		(2)Geiger Muller		(3)Centelleo	
1	1.1 Que tenga bajos costos de inversión para la implementación.	13	3%	○	3%	○	3%	○
2	1.2 Que el mantenimiento del equipo sea fácil y económico.	12	5%	●	2%	○	2%	○
3	1.3 Que sus repuestos sean económicos y asequibles.	8	3%	◀	1%	○	1%	○
4	1.4 Que los costos de ensamblaje sean bajos.	4	5%	●	1%	○	1%	○
5	2.1 Que sea de fácil monitoreo y de generación de alarma en caso de elevado riesgo radioactivo.	20	5%	●	5%	●	5%	●
6	2.2 Que sus componentes no afecten físicamente la aeronave.	18	5%	●	5%	●	5%	●
7	2.3 Que no afecte la navegación aérea.	16	4%	◀	4%	◀	4%	◀
8	2.4 Que sus componentes sean fáciles de fabricar.	9	1%	○	5%	●	5%	●
9	2.5 Que tenga una manipulación segura, no afecte la seguridad operacional.	7	5%	●	5%	●	5%	●
10	2.6 Que su operación sea sencilla y económica.	5	5%	●	5%	●	5%	●
11	3.1 Que el sistema tenga autonomía energética.	29	4%	◀	5%	●	5%	◀
12	3.2 Que tenga una manipulación segura y fácil de interpretar.	25	5%	●	4%	◀	4%	◀
13	3.3 Que sea fácil de transportar.	19	5%	●	5%	●	5%	●
14	3.4 Que sea fácil de instalar.	16	5%	●	5%	●	5%	●
15	3.5 Que sea de fácil repetición la toma de las muestras de radiación.	26	5%	●	5%	●	5%	●
16	3.6 Que las unidades de dosimetría sean en unidades de uSv/h (microsivert/hora).	26	5%	●	5%	●	5%	●
17	3.7 Que por uso no se des-calibre fácilmente.	26	5%	●	3%	○	3%	○
18	3.8 Que se establezca el tipo de energía ionizante a identificar.	26	5%	●	4%	◀	4%	◀
19	4.1 Que no genere consecuencias negativas para el ambiente.	12	5%	●	5%	●	5%	●
20	4.2 Que sus componentes sean reciclables.	8	5%	●	5%	●	5%	●
21	4.3 Que no afecte la visibilidad en la cabina de pilotos.	3	5%	●	5%	●	5%	●
Peso absoluto (W _A).			1512,4		1375		1338	
Peso absoluto (W _R).			93,50%		79%		77.6%	

Parámetros de: relación débil (○) relación media (◀), relación fuerte (●) (1,2,3) Tipo detector

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15 Grado de impacto con respecto a las características técnicas del detector.

	Descripción de los requerimientos del cliente (n)									
	Costo relativamente económico para el monitoreo	Datos en tiempo real de fácil monitoreo	Monitorear la radiación X, gamma y de neutrones	Ver tabla 4	Método medición que permita ser validado por otros métodos	AAAA-MM-DD	SKCG-SKBO	Metros o pies	Horas/ minutos /segundos	Cantidad de veces que se repite el vuelo por un tripulante
Características técnicas (j)	Costo	Placa principal	Geiger Muller	GPS	Elevador de voltage	Fecha del vuelo	Código OACI de aeropuerto origen y destino	Nivel de vuelo (FL) nivel de FL en crucero	Tiempo en durante FL en ruta, tiempo FL de crucero, tiempo de descenso	Frecuencia del vuelo
Costo	●	●	●	●	●	▲	▲	▲	▲	▲
Diseño	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●
Logística	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Medio ambiente	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○
Peso absoluto (W _A)	4650,1	9504	13491	12714	12001,5	7782,07	7782,07	7890,07	7782,07	11030
Peso absoluto (W _R)	4,9%	10,0%	14,3%	13,4%	12,7%	8,2%	8,2%	8,3%	8,2%	11,7%

Parámetros de: relación débil (○) relación media (▲), relación fuerte (●)




Fuente: Elaboración propia.

4.6 Selección de la mejor alternativa

A continuación se describe 3 alternativas ver Tabla 16, con el proposito de seleccionar un dosímetro digital cualitativamente con mayor porcentaje de cumplimiento de requisitos, definidos por la importancia dada por el cliente (Ci), en relación a las características técnicas (j) determinada por la necesidad de monitorear las dosis de radiación del personal en tierra y en vuelo.

Teniendo en cuenta los parámetros de relación débil, media y fuerte se define que las características técnicas del detector conceptualmente es desarrollado en relación al tipo de detector Geiger Muller con mejoras en la adquisición de datos ver Tabla 14 relacionados con 21 requisitos del cliente necesarios para satisfacer la necesidad de monitorear la radiación para el personal de tierra y de vuelo ver Tabla 15 teniendo como referencia modelos experimentales desarrollados por la UE y la FAA.

Tabla 16 Lista de alternativas.

Listado de alternativas			
No	Alternativa	Imagen	Características (m)
1	Detector de radiación gamma, alfa beta portátil	<p>Figura 11 Detector de radiación gamma, alfa beta portátil</p>  <p>Fuente: Propia</p>	<p>Monitorea radiación gamma, x y de neutrones, el detector es capaz de recolecta de manera autónoma dosis equivalente en los tripulantes usando posicionamiento de aeropuertos indicando la ruta y frecuencia de vuelo, cuenta con adquisición de datos por Internet (vía web) Wi-fi batería de autonomía de 72 horas, Entrega de datos sincronizados con programas como CARI- 7A en archivos .DEG.</p>
2	Detector de radiación gamma, alfa beta portátil	<p>Figura 12 Detector de radiación gamma, alfa beta portátil</p>  <p>Fuente: Propia</p>	<p>Monitorea radiación alfa a partir de 4 MeV - radiación beta a partir de 0,2 MeV - radiación gamma a partir de 0,02 MeV Selección de diafragma - Alpha + Beta + Gamma (sin diafragma) Beta + Gamma (hoja Al (aprox 0,1 mm) protege totalente alfa)</p>
3	Detector de radiación gamma, portátil	<p>Figura 13 Detector de radiación gamma, portátil</p>  <p>Fuente: Propia</p>	<p>Los dosímetros personales electrónicos están diseñados para medir rayos X continuos y de pulso y radiación gamma en el rango de energía de 20 keV - 10 MeV. Se recomiendan los dosímetros para proteger a los profesionales que trabajan con o alrededor de rayos X o materiales gamma radiactivos: personal de primera respuesta, personal médico, patrullas de aduanas y fronteras.</p>

Fuente: (Laloix, 2017) y (Álvarez, 2015).

4.7 Pesos ponderados

Para evaluar y seleccionar la alternativa final se desarrolla una comparación entre los pesos ponderados de cada alternativa y se selecciona la que presente mayor cumplimiento frente a las funciones requeridas de acuerdo a cada criterio: costos, diseño, logística y medio ambiente, se analiza cada una de las alternativas que cumpla con el objetivo propuesto en cada criterio, asignándole un valor ponderado el cual mide la importancia relativa de cada una de ellas. Este procedimiento es importante para la toma de decisiones, debido a que se escoge el sistema que más satisfaga los requisitos del cliente Tabla 16

4.8 Selección de la solución más prometedora

La evaluación de alternativas arrojó que la solución más prometedora es la alternativa número 1, a continuación se muestra la alternativa de manera conceptual, detallando las características técnicas de los componentes en relación con las funciones necesarias para el monitoreo de la radiación basadas en los requisitos del cliente ver Tabla 17.

Tabla 17 Descripción de los componentes de acuerdo a las necesidades del funcionamiento.

Funciones	Descripción de las necesidades (n)
Placa principal	Arduino
Geiger Muller y elevador de voltaje	Convencional
GPS	Reprogramable
Fecha del vuelo	Fecha del vuelo
Código OACI de aeropuerto origen y destino	Código OACI de aeropuerto origen y destino
Nivel de vuelo (FL) nivel de FL en crucero	Nivel de vuelo (FL) nivel de FL en crucero
Tiempo en durante FL en ruta, tiempo FL de crucero, tiempo de descenso	Tiempo en durante FL en ruta, tiempo FL de crucero, tiempo de descenso
Frecuencia del vuelo	Frecuencia del vuelo
Dosis equivalente	$\mu\text{Sv/año}$, $\mu\text{Sv/h}$ o CMP
Tipo de radiación	x, gamma y neutrones
Características técnicas de los componentes	
Voltaje de alimentación el rango de voltaje de alimentación deberá estar de 8 a 32 vdc.	
Soporta transmisión de datos híbrida (celular y satelital).	
Sim permitidos.	
Frecuencia parametrizable de adquisición de posición: transmisión cada segundo en redes satelitales y en redes celulares uso de 2g y superior.	

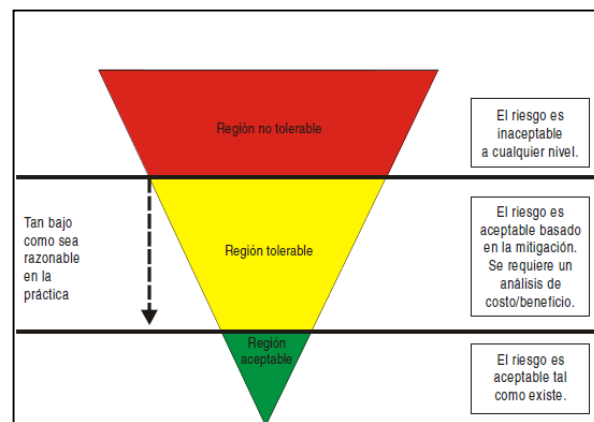
Precisión de posición menor a 10 metros (en operación de unidades con transmisión satelital con mínimo en uso de 40 canales y con transmisión GPRS con mínimo en uso de 20 canales).
Envío de histórico de su posición en caso de pérdida de cobertura.
Batería de back up (autonomía de por lo menos de 72 horas).
Antenas GPS internas y externas.
Firmware actualizable.
Puerto para programación y conexión con periféricos.
Configuración del equipo vía remota almacenamiento de información en el equipo: hasta de 64 gigas.
Software programable (dispositivo permisible de actualización) para compatibilidad con la plataforma de la CARI-7A.
Indicadores luminosos para conocer el estado del equipo (encendido/apagado).
Indicar en pantalla oled.

Fuente: Elaboración propia

5 PLAN DE IMPLEMENTACION

El detector conceptualmente se basó en método de diseño QFD que recoge los requisitos del sector aéreo (el cliente) por lo que puede ser implementado mediante el manual de seguridad operacional de la OACI, el cual regula la aviación a nivel mundial entre ellas la Aeronáutica Civil, es así que al momento de implementar el monitoreo de dosis de radiación para el personal de vuelo y de tierra, la organización de aviación debe definir mediante el manual de seguridad operacional el grado aceptación del riesgo que se puede permitir, para el personal ocupacionalmente expuesto a fuentes de radiación como x gamma y de neutrones, en el momento de monitorear la radiación se establece la región del triángulo invertido segmentado en tres niveles, región no tolerable, región tolerable y región aceptable. Ver Figura 14

Figura 14 Región de Riesgo.



Fuente: (OACI, 2009).

Es así que para efectos de la implementación se recolectan los datos del detector ver Figura 15, para definir la dosis de radiación absorbida debido al tipo de radiación, los resultados del monitoreo es presentado en líneas de código en formato .DEG separado por puntos y comas, sincronizadas con programas validados como CARI-7A, permitiendo valorar conceptualmente la región de aceptación del riesgo por parte de la organización.

Figura 15 Detector seleccionado por el método QFD el cual es usado para esbozar el plan de implantación.



Fuente: propia

La dosis de radiación se determina de acuerdo a lo registrado por el dosímetro digital, lo que permite valorar el nivel de ocurrencia de radiación x, gamma y de neutrones cerca del personal ocupacionalmente expuesto ver Tabla 18.

Tabla 18 Probabilidad de alcanzar dosis máximas ocupacionales.

Posibilidad	Significado	Valor
Frecuente	Probable que ocurra muchas veces (ha ocurrido con frecuencia).	5
Ocasional	Probable que ocurra algunas veces (ha ocurrido).	4
Remoto	Improbable, pero posible que ocurra (ha ocurrido raramente).	3
Improbable	Muy improbable que ocurra (no se sabe que haya ocurrido)	2
Extremadamente improbable	Casi inconcebible que el suceso ocurra.	1

Fuente: (OACI, 2009).

Después de conocer la probabilidad de alcanzar las dosis máximas, se define con letras de la A a la E el grado de gravedad en alcanzar las dosis máximas por el personal.

Tabla 19 Gravedad del suceso.

	Gravedad del suceso	Significado
Catastrófico	Dstrucción de equipo / Muertes múltiples	A
Peligroso	— Reducción importante de los márgenes de seguridad, daño físico o una carga de trabajo tal que los operarios no pueden permitírseles exposiciones prolongadas a la radiación. — Lesiones graves. — Daños mayores al equipo desempeñar sus tareas en forma precisa y completa.	B
Mayor	— Reducción significativa de los márgenes de seguridad, reducción en la habilidad del operador en responder a condiciones operacionales adversas como resultado del incremento de la carga de trabajo, o como resultado de condiciones que impiden su eficiencia. — Incidente grave. — Lesiones a las personas.	C
Menor	— Interferencia. — Limitaciones operacionales. — Uso de procedimientos de emergencia. — Incidentes menores.	D
Insignificante	— Consecuencias leves.	E

Fuente: (OACI, 2009)

La definición de la probabilidad y la gravedad de alcanzar dosis máximas por el personal ocupacionalmente expuesto puede definirse al relacional la Tabla 18 y la Tabla 19.

Tabla 20 Matriz de evaluación de los riesgos de la seguridad operacional.

Probabilidad del riesgo	Catastrófico A	Peligroso B	Mayor C	Menor D	Insignificante E
Frecuente 5	5 ^a	5B	5C	5D	5E
Ocasional 4	4 ^a	4B	4C	4D	4E
Remoto 3	3 ^a	3B	3C	3D	3E
Improbable 2	2 ^a	2B	2C	2D	2E
Extremadamente improbable 1	1 ^a	1B	1C	1D	1E

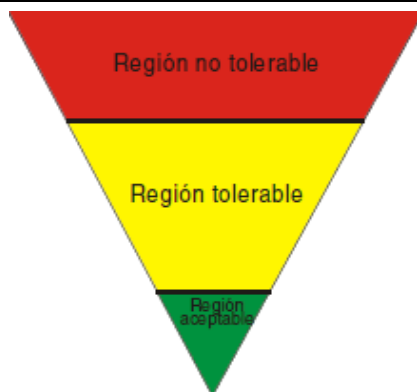
Fuente: (OACI, 2009).

Por último, la implementación del detector logra presentar una evaluación que dependiendo de la tolerancia del riesgo siguiendo el manual seguridad operacional la organización de aviación debe:

- Asignar recursos para reducir la exposición a las consecuencias de los efectos de la radiación.
- Asignar recursos para reducir la magnitud o el potencial perjudicial de las consecuencias de los efectos de la radiación.

c) Cancelar la operación, si la mitigación no es posible.

Tabla 21 Matriz de tolerancia de los riesgos de seguridad operacional.

Criterios sugeridos	Índice de evaluación del riesgo	Criterios sugeridos
	5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A	Inaceptable bajo las circunstancias existentes.
	5D, 5E, 4C, 4D, 4E, 3D, 2A, 2B, 2C.	Aceptable en base a mitigación del riesgo. Puede requerir una decisión de la dirección.
	2E, 2D, 2E, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E.	Aceptable.

Fuente: (OACI, 2009).

6 RESULTADOS

Los resultados son segmentados únicamente a los detectores que la ICRP, EU y FAA han usado para hacer análisis de la radiación derivada de los GCR debido a los resultados, son validados por programas como CARI-7A, los demás detectores como de centelleo no son tenidos en cuenta para la solución conceptual de los requisitos y características de los clientes para el sector aéreo en Colombia.

Los resultados son presentados de acuerdo a la metodología QFD logrando determinar un cumplimiento de las características técnicas en relación a los requisitos del cliente en un 90.2% superando a los demás competidores de acuerdo al tipo de tecnología implementada actualmente.

Tabla 22 Porcentaje de cumplimiento de los requisitos.

Cumplimiento de requisitos y de características técnicas (Competidor)	Porcentaje (%) de Cumplimiento
Nuevo desarrollo conceptual	90.2%
Gamma Scot el cual usa Geiger Muller	79%
Polimaster el cual usa Europio (Centelleo)	77.6%

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo conceptual es basado en las propiedades del Geiger Muller como lo hace el detector gamma scout GS-3, con la diferencia de que los datos recolectados por el detector GS-3 no se pueden sincronizar automáticamente con un indicador de posición GPS, por lo que los programas validados como CARI-7A, no pueden analizar las líneas de código, limitando el uso a talleres de aviación con exposición a fuentes radiactivas, por lo que conceptualmente esta característica técnica de sincronizar la posición GPS con la dosis de radiación de tipo x, gamma y de neutrones, garantizan los requisitos necesarios para la medición de dosis equivalente del personal de tripulantes de aeronaves, sin embargo el detector conceptualmente conserva las características usadas para monitorear la radiación en los talleres de NDT y de motores T-53 presentes en el sector aéreo, reduciendo los costos de implementación al ser usado como herramienta dosimétrica en las dos áreas (personal en tierra y personal en vuelo), la capacidad de almacenar grandes volúmenes de datos permiten ser usados en programas de validación como CARI -7A, mejorando los métodos actuales.

Actualmente los métodos de dosimetría ocupacional en el sector aéreo son basados en tecnología de detectores TLD (Dosimetrix, 2016), los cuales tienen un costo anual según cotización con la empresa dosimetrix para el 2016 de \$ 2,578,680 (COP) al año por persona

ver Tabla 23 y Tabla 24 , el método implementado con detectores TLD lo hace relativamente económico, pero en la parte funcional los TLD no permiten conocer eventos inesperados o fortuitos, sin que se pueda alertar de la dosis máxima permitida de 1 μSv al año, según las recomendaciones de la ICRP, por lo que proyectar el tiempo de exposición mejora los métodos de pronósticos de la dosis máxima ocupacional absorbida por el personal de tierra y de vuelo del sector aeronáutico, permitiendo a las organizaciones de aviación emplear periodos de descontaminación en especial a las tripulaciones gestantes.

Tabla 23 Costos anuales de dosimetría personal con detectores TLD.

	Tipo de dosimetría	Tipo de detector personal	Pedidos cotizados	Tiempo de exposición	Costo	Total
Piloto	Personal	Neutrak	12	1 año	\$1.289.340	\$2.578.680
Copiloto	Personal	Neutrak	12		\$1.289.340	

Fuente: (Dosimetrix, 2016)

Tabla 24 Costos anuales dosimetría ambiental con detectores TLD.

	Tipo de dosimetría	Tipo de detector ambiental	Pedidos cotizados	Tiempo de exposición	Costo	Total
Dentro de la instalación	Ambiental	Luxel ambiental	12	1 año	\$547.291	\$1.094.582
Fuera de la instalación	Ambiental	Luxel ambiental	12		\$547.291	

Fuente: (Dosimetrix, 2016).

Las organizaciones de aviación no conocen actualmente en qué periodo el personal alcanza dosis superiores de 1 μSv al año, debido al tipo de método usado (TLD) por lo que conceptualmente el detector programa líneas de código sincronizadas con el programa CARI-7A, entregando un archivo .DEG, el cual permite a personal no experto en programación generar monitoreo de las dosis equivalentes superiores en 1 μSv al año, disminuyendo la brecha tecnológica al poner al alcance de cualquier interesado la evaluación de la radiación ocupacional.

Las características técnicas conceptualmente se determinaron de acuerdo a las publicaciones de ICRP, CARI-7A, UE, OACI, RAC y Decreto 1477 del 2014, las cuales se relacionaron con los requisitos del cliente mediante la metodología QFD lo que determinó que la importancia técnica del uso de placa de arduino o similares debido a la facilidad

programación en un 10.70%, el uso de Geiger Muller como detector debido a su sensibilidad a la radiación x, gamma y neutrones en un 15%, el uso de GPS de por la necesidad tecnológica demostrada en la ausencia de un competidor con este tipo de tecnología en el país en 14% las demás características técnicas son derivadas de la necesidad de validar los datos recolectados por programas como CARI-7A, como lo son la fecha de vuelo necesaria para establecer la radiación por GCR que decaen a través de la atmosfera en el momento del vuelo, los datos son validados por el modelo BO11 con un valor de 7.30%, aeropuerto de salida y llegada 7.30%, nivel de vuelo 8.20% , tiempo de vuelo 7.30% y frecuencia de vuelo 10.20%. Ver Tabla 25

Tabla 25 Características técnicas (m).

Características técnicas	Importancia técnica absoluta
Costo	3,80%
Placa principal	10,70%
Geiger Muller	15,60%
GPS	14,90%
Elevador de voltaje	14,60%
Fecha del vuelo	7,30%
Código OACI de aeropuerto origen y destino	7,30%
Nivel de vuelo (FL) nivel de FL en crucero	8,20%
Tiempo en durante FL en ruta, tiempo FL de crucero, tiempo de descenso	7,30%
Frecuencia del vuelo	7,30%

Fuente: Elaboración propia.

Por lo anterior determina un particular interés en desarrollo de detectores comerciales en Colombia para que sean usados por diferentes organizaciones de aviación a nivel nacional, evidenciando un potencial de mejora en el área de conocimiento y de desarrollo de dosímetros digitales para el monitoreo de la radiación ocupacional, sin embargo ninguna de la fuentes de información consultadas menciona el uso de detectores para tripulantes ver Tabla 26, del mismo modo se establece que en Colombia se tipifica el monitoreo de la radiación ocupacional para el personal que se expone a fuentes radiactivas por ejemplo los talleres y laboratorios de pruebas no destructivas que hacen parte del sector aéreo en Colombia (IHS Markit , 2017), (Dosimetrix, 2016), (Decreto 1477, 2014) y (ICRP, 2010).

Tabla 26 Resultados de tecnología usada para monitorear la radiación ocupacional.

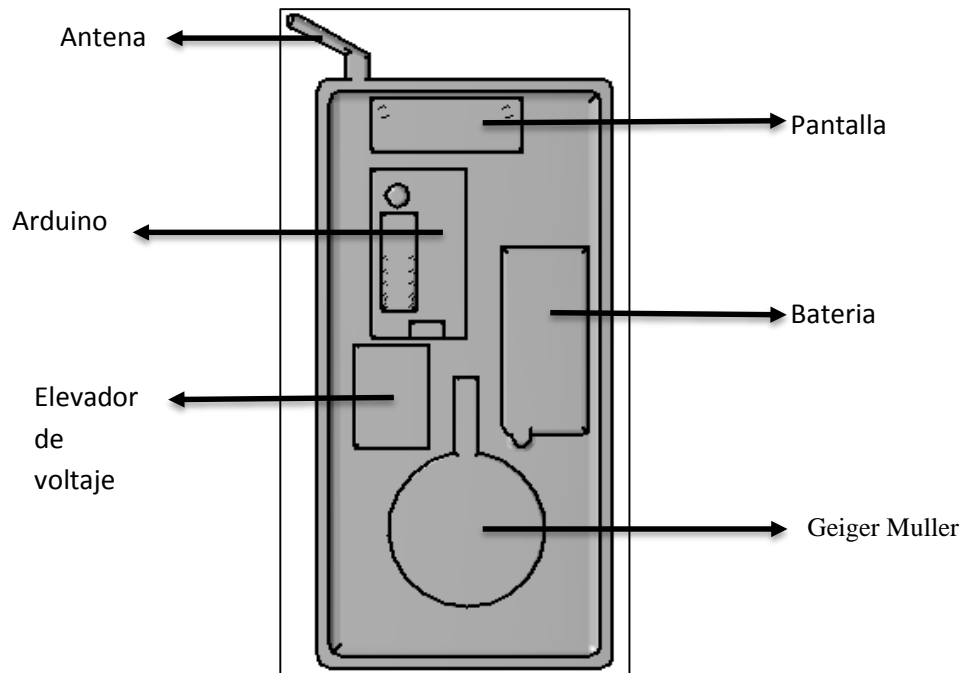
Titulo		Desarrollo Conceptual de Dosímetro Digital para el Sector Aeronáutico en Colombia				
Palabras claves	Aeronáutica / Aeronautics	Tripulación / crew	Desarrollo tecnológico / technological Development	Seguridad operacional /operational safety	Diseño / design	Innovación / innovation
Por titulo	DEVELOPMENT OF DIGITAL DOSIMETER FOR THE AERONAUTICAL SECTOR IN COLOMBIA					
SELECCIÓN DE INFORMACION						
	Modo de vigilancia tecnológica Investigación					
	Delimitación					
	Observación De La Búsqueda					Total Encontrado
	2012 AL 2017					
TITULO	DOSIMETER					272940
Autores	AUTORES					10000
Palabras clave	Aeronáutica Aeronautics / Desarrollo tecnológico technological Development, seguridad operacional / operacional safety, Diseño / design Innovacion innovation					
Cesionario	Organizaciones					100000
Cita y categorías	Nombre de base de conocimientos, tipo de acceso, cita, titulo, URL, consulta, cesionario, fecha de publicación, idioma del documento					
Desarrollo en detectores de radiación ionizante	Detectores					83
Temas definidos por el autor	technological development and design and innovation and dosimetry and operational safety					
Idioma	251036 ingles					12641 Japonés 6517 China
Estado del documento	Activos					8071
Diario de publicación	Fuentes de consulta					2064
Lista de organizaciones	Organizaciones					100000
Limitar los resultados a los estándares asociados con la selección de Código FSC	Los estándares y certificaciones de sostenibilidad son normas y estándares voluntarios, usualmente evaluados por terceras partes, relacionados con asuntos de seguridad ambiental, social, ética y de alimentos, y adoptados por compañías para demostrar el desempeño de sus organizaciones o productos en áreas específicas. Existen quizá más de 500 estándares y el ritmo de la introducción ha incrementado en la última década.					3717
Limitar los resultados a los estándares asociados con la selección de Código ICS	los estándares y certificaciones de sostenibilidad son normas y estándares voluntarios, usualmente evaluados por terceras partes, relacionados con asuntos de seguridad ambiental, social, ética y de alimentos , y adoptados por compañías para demostrar el desempeño de sus organizaciones o productos en áreas específicas existen quizá más de 500 estándares y el ritmo de la introducción ha incrementado en la última década					538
Limitar los resultados a los estándares asociados con la selección de Segmento IHS	IHS Markit proporciona información y análisis para respaldar el proceso de toma de decisiones de negocios y gobiernos en industrias tales como los mercados financieros; aeroespacial; defensa y seguridad; automotor; químico; energía marítima y comercial					8
Sitio de dominio	Extensión o dominio de internet es un nombre único que identifica a un sitio web en internet					29
Fecha de publicación	Los principales lugares web					Libros 11,143 Patent 548
Elaborado por:	Edwin Alexander Casallas Moreno					
Cargo	Estudiante fundación universitaria los libertadores					
Fecha de elaboración	Jueves 03 de agosto del 2017					

Fuente: (IHS Markit , 2017).

Es así que el resultado del diseño conceptual basado en la metodología QFD permite definir un sólido que permite proyectar la interacción con el ambiente, basado en las características técnicas sin tener en cuenta el diseño de detalle ver Figura 1.

La característica conceptual del detector es la fácil manipulación debido a su tamaño, como estructura expuesta al ambiente se define una caja de polímero que da forma al detector sin alterar la medición de la dosis debido a que la penetración de la radiación x, gamma y de neutrones llega al Geiger Muller, el tamaño aproximado es de 10 cm de alto, 2 cm de ancho y 4 cm de lado.

Figura 16 Vista frontal del dosímetro digital, para el sector aeronáutico en Colombia.



Fuente: Elaboración propia.

7 CONCLUSIONES

Debido a que los detectores Geiger Muller han sido usados como herramientas de dosimetría en los estudios de UE para definir las dosis ocupacionales del personal de tripulantes, son considerados por sus buenos resultados operacionales, como base conceptual del detector, debido a que las características técnicas del Geiger Muller le permiten cumplir los requisitos del cliente, remplazando metodologías basadas en TLD usadas como método de monitoreo en talleres de pruebas no destructivas y puede combinadamente ser usado como herramienta dosimétrica para uso en aeronave, como mejora a considerar los datos están basados en líneas de código que pueden ser validados por programas de simulación para el monitoreo de la radiación por la organización de aviación y las empresas aeronáuticas.

En la actualidad el uso en sector aéreo en Colombia está regulado para aeronaves tripuladas que desarrollan operaciones en niveles de vuelo superiores a 49 000 ft y considerando que la aviación estado hace parte del sector aéreo, las aeronaves Kfir tienen la capacidad de llegar a niveles de vuelo (FL) de 58 000 ft, lo que supone el uso herramientas de dosimetría para este tipo de aeronaves, así mismo el uso comercial está ligado a la necesidad de detectores por lo que también se puede beneficiar distintos sectores industriales como el minero, medicina, entre otros.

Por lo que conceptualmente el detector de acuerdo al modo de empleo puede disminuir la desviación estándar de los datos debido al modo de registro de las dosis de radiación, superando tecnologías implementadas en el país, permitiendo ampliar los métodos de monitoreo en tiempo real, minimizando la posibilidad de exceder la dosis ocupacional por eventos inesperados producidos por la desintegración de GCR en la atmosfera terrestre o por rayos X de los equipos de radiografías que se usan en los laboratorios de NDT.

8 GLOSARIO

Aeronave: Toda máquina que puede sustentarse y desplazarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra y que sea apta para transportar pesos útiles (personas o cosas) (civil, s.f.).

Administración federal de aviación FAA: Es una entidad de los Estados Unidos que regula y promueve la aviación civil y militar (aviación, s.f.).

Altura: Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto y una referencia especificada (civil, s.f.).

Coordenadas astronómicas: Definen la posición exacta de un punto en el espacio.

CPM: Medida que usa para definir la tasa de emisiones ionizantes por energías radiactivas.

Dosis equivalente: Es la dosis absorbida por el individuo, considerando el daño o efecto biológico producido. Depende del tipo de radiación, su distribución y el tejido irradiado. Se expresa en Sv (ICPR 103, 2007).

Dosímetro digital: Se define por el tipo de detector usado para monitorear las dosis de radiación, la misma cuenta con elementos electrónicos que le permiten acumular datos.

Dosis equivalente: Es una magnitud física que describe el efecto relativo de los distintos tipos de radiaciones ionizantes sobre los tejidos vivos.

Detector: Se le conoce al equipo que tiene la capacidad de establecer fenómenos.

Dosimetría: Es el cálculo de la dosis absorbida en tejidos y materia como resultado de la exposición a la radiación ionizante, tanto de manera directa como indirecta.

Dosímetro termoluminiscente: Herramienta de dosimetría que a través de un sólido semiconductor cuando es calentado emite una energía previamente absorbida como resultado de un estímulo térmico.

Dosis de radiación ocupacional: Para los fines de este regulatorios se considerará persona ocupacionalmente expuesta, a aquella que se desempeñe en las instalaciones radiactivas u opere equipos generadores de radiaciones ionizantes.

Dosis total absorbida: Es una magnitud utilizada en radiología y protección radiológica, para medir la cantidad de radiación ionizante recibida por un material y más específicamente por un tejido o un ser vivo.

Dosis efectiva: Donde w_R es el factor de ponderación de la radiación correspondiente a la radiación R y $D_{T,R}$ la **dosis** absorbida media en el órgano o tejido T. La unidad de la **dosis efectiva** es el Sievert (Sv) que es equivalente al Julio por kilogramo de masa del tejido ($(J\ kg^{-1})$).

Dosis ambiental equivalente: La dosis equivalente ambiental, $H^*(d)$, en un punto de un campo de radiación, es la dosis equivalente que se produciría por el correspondiente campo alineado en la esfera ICRU, a la profundidad d y sobre el radio opuesto a la dirección de alineación del campo.

Estación espacial internacional (ISS): Es una construcción artificial diseñada para hacer actividades en el espacio exterior, con diversos fines. Se distingue de otra nave espacial tripulada por su carencia de un sistema de propulsión principal.

Gamma: Es un tipo de radiación electromagnética constituida por fotones, producida generalmente por elementos radiactivos o por procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón. También se genera en fenómenos astrofísicos de gran violencia.

Radiación cósmica: Son partículas subatómicas procedentes del espacio exterior cuya energía, debido a su gran velocidad, es muy elevada: cercana a la velocidad de la luz. Se descubrieron cuando se comprobó que la conductividad eléctrica de la atmósfera terrestre se debe a ionización causada por radiaciones de alta energía.

RAC: Reglamento aeronáutico Colombiano, el cual reglamenta la aviación en Colombia.

Radiación ionizante: Son aquellas radiaciones con energía suficiente para ionizar la materia, extrayendo los electrones de sus estados ligados al átomo.

Rayos Cósmicos Galácticos (GCR): También llamados radiación cósmica, son partículas subatómicas procedentes del espacio exterior cuya energía, debido a su gran velocidad, es muy elevada: cercana a la velocidad de la luz. Se descubrieron cuando se comprobó que la conductividad eléctrica de la atmósfera terrestre se debe a ionización causada por radiaciones de alta energía.

ICRP: Es la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) la cual se encarga de ayudar a prevenir el cáncer y otras enfermedades y efectos asociados con la exposición a la radiación ionizante, y para proteger el medio ambiente. Desde 1928, la ICRP ha desarrollado, mantenido y elaborado el Sistema Internacional de Protección Radiológica utilizado en todo el mundo como la base común para las normas de protección radiológica, la legislación, las directrices, los programas y la práctica.

Modelo Badhwar-O'Neill (BO11): Es el modelo de simulación que tiene la capacidad de modelar la radiación teniendo en cuenta el campo magnético de la tierra.

Maniquí antropomórfico: Detector con forma humana creado para simular la penetración de la energía proveniente de la radiación ionizante en un cuerpo humano.

Neutrones: Es una partícula subatómica, un nucleón, sin carga neta, presente en el núcleo atómico de prácticamente todos los átomos, excepto del protón.

NDT: Ensayos no destructivos, son un procedimiento usado para examinar o inspeccionar los materiales y componentes para localizar defectos superficiales y subsuperficiales en forma que estos materiales al ser examinado sin cambiar o destruir su estructura o diseño original.

Nivel de vuelo FL: Es la altitud que vuela una aeronave calculada con respecto a la isobara 29.92 pulgadas de mercurio (101325 Newton/m² ó Pa 1013,25 hectopascales), medida por el altímetro de a bordo, y que es la presión al nivel medio del mar en la atmósfera tipo.

OACI: Es la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) es un organismo especializado de la ONU que trabaja junto a los 191 estados miembros que suscribieron el Convenio de Chicago en 1944, y a grupos de la industria, para alcanzar un consenso sobre las normas y métodos recomendados, para la aviación civil internacional y sobre políticas que hagan posible que el sector de la aviación civil sea operacionalmente seguro, eficiente, económicamente sostenible y ambientalmente responsable. Estos estados emplean los SARPs y las políticas para garantizar que las normas de aviación civil nacionales y las operaciones aéreas se ajusten a las normas internacionales.

Nivel de crucero: nivel de vuelo que mantiene una aeronave durante una parte considerable del vuelo.

Programa CARI-7: Desarrollo en el Instituto Médico Aeroespacial Civil de la FAA, calcula la dosis efectiva de radiación cósmica galáctica recibida por un individuo (basado en un fantasma antropomórfico) en un avión.

Radiación gamma: Es radiación electromagnética emitida por un núcleo cuando experimenta una transición de un estado de energía más alta a un estado energético más bajo. El número de protones y neutrones del núcleo no varía en estas transiciones. Los rayos gamma se emiten a menudo inmediatamente después de una desintegración alfa o beta, son emitidos por el núcleo de átomos radiactivos altamente potentes y constituyen un peligro externo de exposición.

Rayos x: radiación electromagnética que atraviesa cuerpos opacos a la luz ordinaria, con mayor o menor facilidad, según sea la materia de que estos están formados, produciendo detrás de ellos y en superficies convenientemente preparadas, imágenes o impresiones, que se utilizan entre otros fines para la exploración médica.

Sievert (Sv): Unidad de dosis equivalente de radiación del Sistema Internacional, igual a un julio por kilogramo. Cantidad de radiación ionizante requerida para producir el mismo efecto

biológico que un rad de rayos X de alta penetración, equivalente a gray para los rayos X. Mide la dosis de radiación equivalente (ICPR 103, 2007), (González, 2013) y (Educativa, Instituto Latinoamericano de la Comunicación, 1995).

Seguridad operacional: A diferencia de la **Seguridad Física**, la **Seguridad Operacional** engloba los procesos y sistemas destinados a reducir el número de accidentes e incidentes derivados de la operación.

Seguridad ocupacional: Es una multidisciplina en asuntos de protección, seguridad, salud y bienestar de las personas involucradas en el trabajo. Los programas de seguridad e higiene industrial buscan fomentar un ambiente de trabajo seguro y saludable.

Seguridad laboral: Se entiende por **seguridad laboral** el conjunto de técnicas y procedimientos que tienen por objeto evitar y, en su caso, eliminar o minimizar los riesgos que pueden conducir a la materialización de accidentes con ocasión del trabajo, es decir, evitar lesiones y los efectos agudos producidos por agentes o productos peligrosos.

Tripulante: persona titular de la correspondiente licencia, a quien el explotador de una aeronave asigna obligaciones o tareas que ha de cumplir a bordo durante el tiempo de vuelo de la aeronave.

Velocidad de crucero: Velocidad máxima que alcanza un vehículo automóvil, barco o avión con el mínimo gasto de combustible.

9 BIBLIOGRAFIA

- Alexander N. Gordeev. (2012). Patente US 8502158B1, 2(12).
- Apparao, K. C., & Birru, A. K. (2017). QFD-Taguchi based hybrid approach in die casting process optimization. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 27(11), 2345–2356. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60260-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60260-7)
- Asorey, H. (2012). Los Detectores Cherenkov del Observatorio Pierre Auger y su Aplicación al Estudio de Fondos de Radiación. Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, comisión Nacional de Energía Atómica.
- B. Pelowitz, D., W. Durkee, J., S. Elson, J., Fensin, M., S. Hendricks, J., R. James, M., ... A. Wilcox, T. (2011). MCNPX 2.7.0 extensions.
- Basto, V. S., & Moreno, E. A. C. (2018). Radiation Dose Risk Maps for Aviation with, 1–14.
- Bessel, F. W. (1826). On the Computation of Geographical Longitude and Latitude from Geodetic Measurements. *Astronomische Nachrichten*, 4(86), 241–254.
- Centronic. (n.d.). Geiger-Müller Tubes.
- Civil Aeronautics. (2016). R A C 4 Rules for airworthiness and operation of aircraft. Retrieved from http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/VERSION_AGOS_25_2016/RAC_4_-_Normas_de_Aeronavegabilidad_y_Operación_de_aeronaves.pdf
- Copeland, K. (2017a). Cari-7A: Development and validation. *Radiation Protection Dosimetry*, 175(4), 419–431. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw369>
- Copeland, K. (2017b). CARI-7A: Development and Validation. *Radiation Protection Dosimetry*, 10, 1–13. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw369>
- Cruzate, J.A.; Gregori, B.N.; Carelli, J. L., & Aguerre, L.O. y Discacciatti, A. P. (2006). Estudio de la respuesta a neutrones de un dosímetro personal en campos mixtos (n , γ) en función de H_p (10), (10), 4–8.
- Dachev, T. P., Tomov, B. T., Matviichuk, Y. N., Dimitrov, P. G., & Bankov, N. G. (2016). Life Sciences in Space Research High dose rates obtained outside ISS in June 2015 during SEP event, (June 2015), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2016.03.004>
- Decreto 1477. (2014). Decreto 1477. Retrieved from http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/36482/decreto_1477_del_5_de_agosto_de_2014.pdf/b526be63-28ee-8a0d-9014-8b5d7b299500

- Dosimetrix. (2016). Dosimetrix, (45), 1–7.
- Geiger, H., & Müller, W. (1928). Elektronenzählrohr zur Messung schwächer Aktivitäten. Die Naturwissenschaften, 16(31), 617–618.
- ICAO, I. C. A. O. (2006). Safety Management Manual. Retrieved from [www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/biblioteca-tecnica/Gestin de Seguridad/Documento OACI 9859 Primera Edici3n 2006.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/biblioteca-tecnica/Gestin%20de%20Seguridad/Documento%20OACI%209859%20Primera%20Edici3n%202006.pdf)
- ICRP. (2007). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP, 37(2–4). <https://doi.org/10.1093/rpd/ncn187>
- ICRP. (2010). ICRP REPORT 84: Reference Data for the Validation of Doses from Cosmic-Radiation Exposure of Aircraft Crew. ICRP Report 84. Ann. ICRP, 1(2), 1–13.
- ICRP. (2013). ICRP PUBLICATION 123: Assessment of Radiation Exposure of Astronauts in Space. ICRP Publication 123, 42(4), 1–339. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.icrp.2013.05.004>
- ICRP, 103. (2008). ICRP Publication 103: Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 103. Ann. ICRP, 129(4), 500. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncn187>
- Laloix, T., Voisin, A., Deeb, S., Romagne, E., Iung, B., & Lorange, F. (2017). Industrial System Functioning/Dysfunctioning-Based Approach for Indicator Identification to Support Proactive Maintenance. IFAC-PapersOnLine, 50(1), 13704–13709. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2544>
- Murray, R. L., & Holbert, K. E. (2015). Radiation detectors. Nuclear Energy, 177–196. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416654-7.00012-5>
- Myung-Hee Y. Kim, O'Neill, P. M., Slaba, T. C., Wyle Science, Technology and Engineering, H., Center, N. J. S., & Hampton. (2014). Implementing Badhwar-O'Neill Galactic Cosmic Ray Model for the Analysis of Space Radiation Exposure, 77058. <https://doi.org/10.1002/2013JE004549>.
- OACI. (2002). Anexo 6 - operacion de aeronaves, 1.
- Spurny, F. (2004). COSMIC RADIATION EXPOSURE OF AIRCRAFT CREW :, 110, 417–422. <https://doi.org/10.1093/rpd/nch232>

- Tawara, H., Masukawa, M., Nagamatsu, A., Kitajo, K., Kumagai, H., & Yasuda, N. (2011). Characteristics of $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{:Tb}$ (TLD-MSO-S) relevant for space radiation dosimetry. *Radiation Measurements*, 46(8), 709–716. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2011.05.058>
- Tobergte, D. R., & Curtis, S. (2013). Embarazo e Irradiación Médica. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Vincenty, T. (1975). Direct and Inverse Solutions on the Ellipsoid with applications to Nested Equations. *Survey Review*, 23(176), 88–93. Retrieved from www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/inverse.pdf
- Vincenty, T. (1976). Correspondence: Solutions of Geodesics. *Survey Review*, 23(180), 294.